

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Hiroaki NAKAI, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: STEREO CALIBRATION APPARATUS AND STEREO IMAGE MONITORING APPARATUS USING
THE SAME

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):
Application No. Date Filed
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:


<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2003-068835	March 13, 2003
Japan	2003-165757	June 10, 2003

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
☐ are submitted herewith
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland
Registration Number 21,124

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 1 3 日
Date of Application:

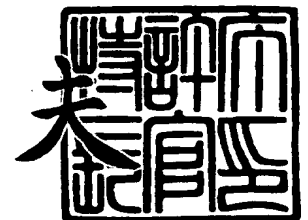
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 6 8 8 3 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 6 8 8 3 5]

出 願 人 株 式 会 社 東 芝
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 1 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 030313SNP1

【提出日】 平成15年 3月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 15/62

【発明の名称】 ステレオキャリブレーション装置とそれを用いたステレオ画像監視装置

【請求項の数】 9

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝
研究開発センター内

 【氏名】 中井 宏章

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区東寺尾中台 3 3 - 1 0 東芝中台
寮 5 1 9

 【氏名】 ドアン マニープッティビダヤ

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝
研究開発センター内

 【氏名】 丸山 昌之

【特許出願人】

 【識別番号】 000003078

 【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号

 【氏名又は名称】 株式会社東芝

【代理人】**【識別番号】** 100059225**【住所又は居所】** 大阪府大阪市中央区備後町 1 丁目 7 番 1 0 号 ニッセイ
備後町ビル 9 階 蔦田内外国特許事務所**【弁理士】****【氏名又は名称】** 蔦田 璋子**【電話番号】** 06-6271-5522**【選任した代理人】****【識別番号】** 100076314**【住所又は居所】** 大阪府大阪市中央区備後町 1 丁目 7 番 1 0 号 ニッセ
イ備後町ビル 9 階 蔦田内外国特許事務所**【弁理士】****【氏名又は名称】** 蔦田 正人**【電話番号】** 06-6271-5522**【選任した代理人】****【識別番号】** 100112612**【住所又は居所】** 大阪府大阪市中央区備後町 1 丁目 7 番 1 0 号 ニッセ
イ備後町ビル 9 階 蔦田内外国特許事務所**【弁理士】****【氏名又は名称】** 中村 哲士**【電話番号】** 06-6271-5522**【選任した代理人】****【識別番号】** 100112623**【住所又は居所】** 大阪府大阪市中央区備後町 1 丁目 7 番 1 0 号 ニッセ
イ備後町ビル 9 階 蔦田内外国特許事務所**【弁理士】****【氏名又は名称】** 富田 克幸**【電話番号】** 06-6271-5522

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008589

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ステレオキャリブレーション装置とそれを用いたステレオ画像監視装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

予め設定された共通領域を撮影する一对の撮像装置間の画像変換パラメータである射影行列を求めるステレオキャリブレーション装置において、

前記一对の撮像装置からの画像をそれぞれ入力する画像入力手段と、

前記一对の撮像装置から入力した一对の画像の中の各画像毎に、前記共通領域中にある少なくとも 4 本の直線をそれぞれ検出する直線検出手段と、

前記各画像からそれぞれ検出された直線の近傍領域の画像特徴を利用して、前記一对の画像間における対応直線の組を少なくとも 4 組求める直線対応検出手段と、

前記得られた対応直線の組に基づいて、前記一对の撮像装置間の前記射影行列を算出する変換行列算出手段と、

を有する

ことを特徴とするステレオキャリブレーション装置。

【請求項 2】

前記直線対応検出手段は、

前記直線近傍での画像特徴を用いた領域マッチングにより対応直線の組を求める

ことを特徴とする請求項 1 のステレオキャリブレーション装置。

【請求項 3】

前記直線対応検出手段は、

前記一对の画像の各画像からそれぞれ検出された各直線毎の近傍領域の画像特徴に関するデータ列を求め、

前記一对の画像中の一方の画像から検出された各直線のデータ列と、前記一对

の画像中の他方の画像から検出された各直線のデータ列との間の正規化距離をそれぞれ求め、

前記一方の画像におけるある直線に対して、最小の正規化距離を持つ前記他方の画像における直線を対応する直線として、これら直線の組を対応直線の組とする

ことを特徴とする請求項1のステレオキャリブレーション装置。

【請求項4】

前記変換行列算出手段は、

前記得られた対応直線の組に基づく直線の式と、直線に関する射影変換式に基づいて前記射影行列を算出する

ことを特徴とする請求項1のステレオキャリブレーション装置。

【請求項5】

予め設定された共通領域を撮影する一対の撮像装置間の画像変換パラメータである射影行列を求めるためにステレオキャリブレーション装置が行うステレオキャリブレーション方法において、

前記一対の撮像装置からの画像をそれぞれ入力する画像入力ステップと、

前記一対の撮像装置から入力した一対の画像の中の各画像毎に、前記共通領域中にある少なくとも4本の直線をそれぞれ検出する直線検出ステップと、

前記各画像からそれぞれ検出された直線の近傍領域の画像特徴を利用して、前記一対の画像間における対応直線の組を少なくとも4組求める直線対応検出ステップと、

前記得られた対応直線の組に基づいて、前記一対の撮像装置間の前記射影行列を算出する変換行列算出ステップと、

を有する

ことを特徴とするステレオキャリブレーション方法。

【請求項6】

予め設定された共通領域を撮影する一対の撮像装置間の画像変換パラメータである射影行列を求めるステレオキャリブレーション方法をコンピュータによって実現するプログラムにおいて、

前記一对の撮像装置からの画像をそれぞれ入力する画像入力機能と、

前記一对の撮像装置から入力した一对の画像の中の各画像毎に、前記共通領域中にある少なくとも4本の直線をそれぞれ検出する直線検出機能と、

前記各画像からそれぞれ検出された直線の近傍領域の画像特徴を利用して、前記一对の画像間における対応直線の組を少なくとも4組求める直線対応検出機能と、

前記得られた対応直線の組に基づいて、前記一对の撮像装置間の前記射影行列を算出する変換行列算出機能と、

を実現する

ことを特徴とするステレオキャリブレーション方法のプログラム。

【請求項7】

請求項1から請求項4の中で少なくとも一項に記載されたステレオキャリブレーション装置によって算出された射影行列を用いて、前記一对の撮像装置で前方を監視してステレオ視の原理で障害物等の対象物の三次元位置や構造を解析することを特徴とするステレオ画像監視装置。

【請求項8】

ステレオ画像監視装置が行うステレオ画像監視方法であって、

請求項5に記載されたステレオキャリブレーション方法によって算出された射影行列を用いて、前記一对の撮像装置で前方を監視してステレオ視の原理で障害物等の対象物の三次元位置や構造を解析する

ことを特徴とするステレオ画像監視方法。

【請求項9】

コンピュータによって実現されるステレオ画像監視方法のプログラムであって、

請求項6に記載されたステレオキャリブレーション方法のプログラムによって算出された射影行列を用いて、前記一对の撮像装置で前方を監視してステレオ視の原理で障害物等の対象物の三次元位置や構造を解析する

ことを特徴とするステレオ画像監視方法のプログラム。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、複数の撮像装置間の画像変換パラメータを求めるステレオキャリブレーション装置とそれを用いたステレオ画像監視装置に関する。

【0002】**【従来の技術】**

CCDカメラ等の撮像装置を用いて不審人物を自動検知する画像監視装置や、走行車両に搭載される撮像装置を用いて道路上の障害物を発見したり走行レーンを認識する前方監視装置や走行支援装置においては、撮像装置を1個だけ用いる方式よりも、複数の撮像装置で共通視野を監視できるもののほうが容易に高い検知性能が得られる。

【0003】

この理由は、侵入者や障害物等の検知対象のバリエーションが事実上無限であり、全てカバーできる仕様記述を得ることが現実的には不可能、よって検知対象に似た道路面上のテクスチャや予期しない画像変化等の誤検出要因がある環境においては、画像パターンのみにより検知対象を正しく区別することが大変困難であることによる。一方、複数の撮像手段が使用可能である場合、共通視野についてはステレオ視の原理により対象の3次元位置や構造に関する情報が得られ、検知対象を上記誤検出要因から区別することが容易となる。

【0004】

但し、対象の3次元情報を精密に得るためには、画像中の全ての場所についてステレオ対応付けの問題を解決せねばならず、屋外環境のように複雑かつ多くの環境外乱が存在する場合には、これも大変困難となる。ところが、特許文献1や特許文献2のような方法を用いると、対象の構造に関する3次元情報は厳密には得られないものの、例えば地面や道路面といった3次元空間内のある平面を基準とし、これと比して高さを持つ画像領域だけを正しく検出でき、屋外環境においても検知対象の有無とその位置については正確に検知することが可能となる。

【0005】

この方式の原理は次のように説明できる。

【0006】

今、撮像装置である2つのカメラが監視区域を共通視野として設置されているとする。侵入者や障害物がない場合の監視区域は道路面等の3次元空間内での平面であるとし、これを基準平面と呼ぶ。基準平面上の点Xが同時に2つのカメラで撮影されており、一方のカメラでのXの像の画像座標を (x, y) 、もう片方のカメラでのXの像の画像座標を (x', y') 、各カメラの焦点距離を f, f' とすれば、一方のカメラ画像からもう片方のカメラ画像への変換が射影変換となり

【数1】

$$x' = f' \frac{H_{11}x + H_{12}y + H_{13}f}{H_{31}x + H_{32}y + H_{33}f} \quad y' = f' \frac{H_{21}x + H_{22}y + H_{23}f}{H_{31}x + H_{32}y + H_{33}f}$$

の関係を得る。ここで、各画像座標を斉次座標表現を用いて $\mathbf{x} = (x, y, f)^T$, $\mathbf{x}' = (x', y', f')^T$ と表し (T は置換を表す)、 H_{11}, \dots, H_{33} を要素とする 3×3 の行列を H とすれば、 s を定数として、

【数2】

$$s\mathbf{x}' = H\mathbf{x}$$

で $\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{x}'$ の画像変換が表せる。 s は \mathbf{x} に依存し、 H の自由度が8であるから、

【数3】

$$H = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & 1 \end{pmatrix}$$

としても一般性は失われない。Xが基準平面上にある限り、Hは \mathbf{x} によらず一定として求めることができ、このHを射影行列と呼ぶ。射影行列Hが既知である場合、(2)式より $\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{x}'$ の変換を求め、一方のカメラ画像での (x, y) 近傍の画像特徴(輝度値等)ともう一方のカメラ画像での (x', y') 近傍の画像特徴を比較し、双方が同じであればXが基準平面上にあると判定できる。反対に、双方の画像特徴が異なっていればXは基準平面上にない、つまり基準平面からの高さを持った何らかの侵入物や障害物が画像中の (x, y) あるいは (x', y') の位置に存在すると判定することができる。

【0007】

なお、本明細書において、「 \mathbf{x} 」のように横倍角表示されたものは、ベクトル表示を示し、他の文字についても同様である。

【0008】

このように、予めHが求められていれば、高さを持つ物体が基準平面上にあるか否かを判定することができ、路面のテクスチャや物体の影等を誤って検知することのない高性能な画像監視装置が実現できる。

【0009】

以降、Hを求める従来方法について説明する。

【0010】

2個のカメラ画像間で対応する点(画素)の組 $\{\mathbf{x}_m = (x_m, y_m, f)^T, \mathbf{x}'_m = (x'_m, y'_m, f')^T\}$ ($m=1 \cdots M$)が4個以上分かっているならばHを求めることができる。具体的には、 $\mathbf{h} = (H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{31}, H_{32})^T$ とし、(2)式を \mathbf{h} の一次式に書き直せば

【数4】

$$\begin{pmatrix} xf' & yf' & ff' & 0 & 0 & 0 & -xx' & -yx' \\ 0 & 0 & 0 & xf' & yf' & ff' & -xy' & -yy' \end{pmatrix} \mathbf{h} = \begin{pmatrix} x'f \\ y'f \end{pmatrix}$$

となる。各対応点の組 $\{\mathbf{x}_m, \mathbf{x}'_m\}$ をこれに代入し、得られる連立

式を解けば \mathbf{h} つまり H が求められる。これから、対応点の組のみからでなく、画像中の直線を検出し、そのカメラ画像間での対応も用いて H を求める方法が以下のように導かれる。

【0011】

今、対応点の組 $\{\mathbf{x}_m, \mathbf{x}'_m\}$ と同時に、カメラ画像間で対応する直線の組 $\{a_n x + b_n y + c_n f = 0, a'_n x' + b'_n y' + c'_n f' = 0\}$ ($n=1 \cdots N$) が求められているとする。直線をパラメータ $\mathbf{l}_n = (a_n, b_n, c_n)^T$, $\mathbf{l}'_n = (a'_n, b'_n, c'_n)^T$ で表せば、画像上の各直線は

【数5】

$$\ell_n^T \mathbf{x} = 0 \quad \ell'^T_n \mathbf{x}' = 0$$

と表され、これと (2) 式が同時に成り立つことから、直線に関する射影変換式

【数6】

$$u \ell_n = H^T \ell'_n$$

が得られる (u は定数)。これに対して (4) 式と同様の展開を行い、対応点の組 $\{\mathbf{x}_m, \mathbf{x}'_m\}$ と対応直線の組 $\{\mathbf{l}_n, \mathbf{l}'_n\}$ により得られる

\mathbf{h} の連立式を一つに合わせれば、最終的に

【数 7】

$$\begin{pmatrix}
 x_1 f' & y_1 f' & f f' & 0 & 0 & 0 & -x_1 x'_1 & -y_1 x'_1 \\
 0 & 0 & 0 & x_1 f'_1 & y_1 f'_1 & f f' & -x_1 y'_1 & -y_1 y'_1 \\
 & & & \vdots & & & & \\
 x_M f' & y_M f' & f f' & 0 & 0 & 0 & -x_M x'_M & -y_M x'_M \\
 0 & 0 & 0 & x_M f'_M & y_M f'_M & f f' & -x_M y'_M & -y_M y'_M \\
 a'_1 c_1 & 0 & -a'_1 a_1 & b'_1 c_1 & 0 & -b'_1 a_1 & c'_1 c_1 & 0 \\
 0 & a'_1 c_1 & -a'_1 b_1 & 0 & b'_1 c_1 & -b'_1 b_1 & 0 & c'_1 c_1 \\
 & & & \vdots & & & & \\
 a'_N c_N & 0 & -a'_N a_N & b'_N c_N & 0 & -b'_N a_N & c'_N c_N & 0 \\
 0 & a'_N c_N & -a'_N b_N & 0 & b'_N c_N & -b'_N b_N & 0 & c'_N c_N
 \end{pmatrix} h = \begin{pmatrix} x'_1 f \\ y'_1 f \\ \vdots \\ x'_M f \\ y'_M f \\ a_1 c'_1 \\ b_1 c'_1 \\ \vdots \\ a_N c'_N \\ b_N c'_N \end{pmatrix}$$

が得られる。これを解けば h つまり H を求められる。 $M+N$ が 4 以上であれば、例えば非特許文献 1 に記載の様々な解法を用いて H を計算することが可能である。

【0012】

以上のように、射影行列を求めるには、カメラ画像間で対応点（画素）や対応直線の組が予め得られていることが前提となる。

【0013】

ところが、従来、多くの画像監視装置等では、それらの設置時に調整員が手作業により対応点や対応直線の組を求めており、調整員は対応を誤ることなく注意深く作業を行う必要があるとともに、精度良く射影行列を計算するために多数の対応点や対応直線を求めなければならず、長時間の作業が強いられていた。

【0014】

また、振動の多い場所や車載カメラを用いる等、カメラ取り付けの“ずれ”が起り得る場合、調整員による再キャリブレーションが行われるまで画像監視装置の誤動作が発生したり、調整員を設置場所へ派遣する必要がある等、画像監視装置の使用者にとって極めて不都合な状況が発生する。

【0015】

【特許文献1】

特開平11-328365

【0016】

【特許文献2】

特開2000-293693

【0017】

【非特許文献1】

W. H. Press et al, Numerical Recipes in C, ISBN 0-521-43108-5

【0018】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、特許文献1や特許文献2のような高性能の画像監視装置や障害物検出装置を実現するためには、撮像装置間の画像変換パラメータを求めるため、予めステレオキャリブレーションを行う必要がある。

【0019】

従来のステレオキャリブレーション装置では、調整員による対応点指定等の作業が不可欠であり、多大な人的コストと作業時間が必要である。特に多数のステレオキャリブレーションを行わなければならない場合や、カメラの取り付けが不測で変更されるような場合には、さらに人的コストや作業時間が甚大となるという問題点がある。

【0020】

本発明はこのような事情を鑑みてなされたもので、複数の撮像装置の取り付け位置の違いにより撮影画像に差異が見られる場合においても、画像間の対応直線の組を自動で求めて射影行列を算出することによりステレオキャリブレーションを自動化し、オペレータの操作なしで短時間に高精度の画像変換パラメータを獲得できるステレオキャリブレーション装置とそれを用いたステレオ画像監視装置を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】

請求項1の発明は、予め設定された共通領域を撮影する一対の撮像装置間の画像変換パラメータである射影行列を求めるステレオキャリブレーション装置において、前記一対の撮像装置からの画像をそれぞれ入力する画像入力手段と、前記一対の撮像装置から入力した一対の画像の中の各画像毎に、前記共通領域中にあ
る少なくとも4本の直線をそれぞれ検出する直線検出手段と、前記各画像からそれぞれ検出された直線の近傍領域の画像特徴を利用して、前記一対の画像間における対応直線の組を少なくとも4組求める直線対応検出手段と、前記得られた対応直線の組に基づいて、前記一対の撮像装置間の前記射影行列を算出する変換行列算出手段と、を有することを特徴とするステレオキャリブレーション装置である。

【0022】

請求項2の発明は、前記直線対応検出手段は、前記直線近傍での画像特徴を用いた領域マッチングにより対応直線の組を求めることを特徴とする請求項1のステレオキャリブレーション装置である。

【0023】

請求項3の発明は、前記直線対応検出手段は、前記一対の画像の各画像からそれぞれ検出された各直線毎の近傍領域の画像特徴に関するデータ列を求め、前記一対の画像中の一方の画像から検出された各直線のデータ列と、前記一対の画像中の他方の画像から検出された各直線のデータ列との間の正規化距離をそれぞれ求め、前記一方の画像におけるある直線に対して、最小の正規化距離を持つ前記他方の画像における直線を対応する直線として、これら直線の組を対応直線の組とすることを特徴とする請求項1のステレオキャリブレーション装置である。

【0024】

請求項4の発明は、前記変換行列算出手段は、前記得られた対応直線の組に基づく直線の式と、直線に関する射影変換式に基づいて前記射影行列を算出することを特徴とする請求項1のステレオキャリブレーション装置である。

【0025】

請求項5の発明は、予め設定された共通領域を撮影する一対の撮像装置間の画像変換パラメータである射影行列を求めるためにステレオキャリブレーション装

置が行うステレオキャリブレーション方法において、前記一对の撮像装置からの画像をそれぞれ入力する画像入力ステップと、前記一对の撮像装置から入力した一对の画像の中の各画像毎に、前記共通領域中にある少なくとも4本の直線を検出する直線検出ステップと、前記各画像からそれぞれ検出された直線の近傍領域の画像特徴を利用して、前記一对の画像間における対応直線の組を少なくとも4組求める直線対応検出ステップと、前記得られた対応直線の組に基づいて、前記一对の撮像装置間の前記射影行列を算出する変換行列算出ステップと、を有することを特徴とするステレオキャリブレーション方法である。

【0026】

請求項6の発明は、予め設定された共通領域を撮影する一对の撮像装置間の画像変換パラメータである射影行列を求めるステレオキャリブレーション方法をコンピュータによって実現するプログラムにおいて、前記一对の撮像装置からの画像をそれぞれ入力する画像入力機能と、前記一对の撮像装置から入力した一对の画像の中の各画像毎に、前記共通領域中にある少なくとも4本の直線を検出する直線検出機能と、前記各画像からそれぞれ検出された直線の近傍領域の画像特徴を利用して、前記一对の画像間における対応直線の組を少なくとも4組求める直線対応検出機能と、前記得られた対応直線の組に基づいて、前記一对の撮像装置間の前記射影行列を算出する変換行列算出機能と、を実現することを特徴とするステレオキャリブレーション方法のプログラムである。

【0027】

請求項7の発明は、請求項1から請求項4の中で少なくとも一項に記載されたステレオキャリブレーション装置によって算出された射影行列を用いて、前記一对の撮像装置で前方を監視してステレオ視の原理で障害物等の対象物の三次元位置や構造を解析することを特徴とするステレオ画像監視装置である。

【0028】

請求項8の発明は、ステレオ画像監視装置が行うステレオ画像監視方法であって、請求項5に記載されたステレオキャリブレーション方法によって算出された射影行列を用いて、前記一对の撮像装置で前方を監視してステレオ視の原理で障害物等の対象物の三次元位置や構造を解析することを特徴とするステレオ画像監視装置である。

視方法である。

【0029】

請求項9の発明は、コンピュータによって実現されるステレオ画像監視方法のプログラムであって、請求項6に記載されたステレオキャリブレーション方法のプログラムによって算出された射影行列を用いて、前記一对の撮像装置で前方を監視してステレオ視の原理で障害物等の対象物の三次元位置や構造を解析することを特徴とするステレオ画像監視方法のプログラムである。

【0030】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態について図1から図9を用いて説明する。

【0031】

図1は、本実施形態のステレオキャリブレーション装置の概略構成図である。

【0032】

本実施形態のステレオキャリブレーション装置は、画像入力部11と、直線検出部12と、直線対応検出部13と、変換行列算出部14とからなる。これら各部11～14の各機能は、コンピュータに記憶されたプログラムによって実現される。

【0033】

(1) 画像入力部11

画像入力部11は、任意の複数の撮像装置101からの画像が供給される。

【0034】

本実施形態では、撮像装置101は2個のCCDカメラ等の撮像装置からなり、例えば、図2に示すように監視区域上方に2個所設置されたり、車両に2個所搭載される場合には図3に示すように自車両前部の左側と右側に取りつけられる。

【0035】

ここで、ステレオキャリブレーション装置の動作時には、図2の監視区域のような3次元空間内の平面（例えば、道路面）が両カメラにて撮影されているとし、この平面上には高さを持つ物体がないとする。

【0036】

よって、後段の直線検出部12にて検出される直線は全てこの平面上のテクスチャから得られるものとする。

【0037】

画像入力部11は、撮像装置101から出力される映像信号を逐次A/D変換し、画像入力部11内のメモリにデジタル画像あるいは画像列として蓄積する。そして、要求された任意時刻、任意領域の画像を次の直線検出部12及び直線対応検出部13に出力する。

【0038】

(2) 直線検出部12

直線検出部12は、画像入力部11に蓄積されている、撮像装置101からの複数画像において直線を検出する。

【0039】

ここでは、輝度勾配の大きい画素が直線状に連なっているものを直線として検出する方法について説明する。

【0040】

「輝度勾配」とは、画素近傍での輝度変化の度合いを示すものであり、図2の監視区域であれば路面白線の境界といった画像中の構造の境界領域で大きな値となる（単にエッジとも呼ばれる）。

【0041】

輝度勾配を求める方法としては、例えばSobelオペレータのようなフィルタを画像に重畳する方法がある。

【0042】

Sobelオペレータによりエッジ画素を求める方法を説明する。

【0043】

画像中の位置 (x, y) での輝度を $I(x, y)$ とし、フィルタ各要素 $F_x(i, j)$, $F_y(i, j)$ が図4のように設定されていると、このフィルタを画像に重畳して得られる値 G_x , G_y 、すなわち、

【数 8】

$$G_x(x, y) = \sum_{i, j=-1, 0, 1} F_x(i, j) I(x+i, y+j), \quad G_y(x, y) = \sum_{i, j=-1, 0, 1} F_y(i, j) I(x+i, y+j)$$

は、各々 (x, y) 近傍での水平方向及び垂直方向の輝度変化の度合いを示すので、輝度勾配強度 G (x, y) は

【数 9】

$$G(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2}$$

等として得られる。よって、この輝度勾配強度が予め定められたしきい値より大きい画素のみを抽出する等によりエッジ画素が求められる。図 5 は、図 2 のようにカメラ a, b が設置されている場合に、各カメラ画像から得られたエッジ画像の例を示す。

【0044】

他に輝度勾配を求めるフィルタとしては、Laplacian, Robinson, Canny 等様々なものがあり、どれを用いてもかまわない。公知の輝度勾配算出方法は、例えば非特許文献 2 (高木、下田監修、画像解析ハンドブック、東京大学出版会、ISBN 4-13-061107-0) に詳しい。

【0045】

エッジ画素が求められた後、例えばハフ変換といった方法を用いてエッジ画素を通る直線が検出できる。ハフ変換は画像中の直線を検出する方法として広く知られている (非特許文献 2)。簡潔に説明するなら、エッジ画素位置 (x, y) を

【数 10】

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$

を用いて (ρ, θ) 空間の三角関数曲線に変換したとき、複数のエッジ画素から生じる複数曲線の交点が直線に対応することから、直線を $ax + by + c = 0$ としたときの直線パラメータ (a, b, c) を交点の (ρ, θ) 値と (10) 式とから算出する方法である。

【0046】

また、非特許文献 3 (M. A. Fischler et al, Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, Communications of the ACM, Vol. 24, No. 6, pp. 253-267, 1981.) のような RANSAC といったロバスト推定による直線当てはめも、エッジ画像における直線検出に有効である。これも簡潔に記述するなら、ランダムに選択された複数のエッジ画素を初期値として、最小 2 乗法等によりエッジ画素群に直線当てはめを行い、直線からの外れ値 (距離) が大きい画素を取り除くとともに外れ値が小さいエッジ画素を新たに含め、再度同様の方法で直線当てはめを行う。最大の外れ値が許容範囲に収まるまで以上の直線当てはめを繰り返せば、直線上に並ぶエッジ画素を通る直線を検出できるというものである。これらの方法により、図 5 に示されるようにエッジ画素群が不連続であったり、くの字状に曲がって連続していても、図 6 のように正しく直線を求めることができる。

【0047】

以上の直線検出処理を、2 個の撮像装置からの各画像に対して行い、画像毎に 4 個以上の直線を求める。直線のパラメータを $\mathbf{l} = (a, b, c)^T$ 、画像座標を斉次座標表現 $\mathbf{x} = (x, y, f)^T$ としたとき (f は焦点距離)、直線は $\mathbf{l}^T \mathbf{x} = 0$ で表される。直線パラメータだけであると、その直線をな

すエッジ画素が画像中のどの部分にあるか分からないので、直線上に存在する、あるいは直線近傍の許容範囲内に存在するエッジ画素群の端点2点も、各直線毎に図6丸印のように求める。

【0048】

(3) 直線対応検出部13

直線対応検出部13は、上述の直線検出部12にて検出された直線の近傍画像領域を画像入力部11から得て、画像特徴の比較により2画像間での対応直線の組を求める。なお、「画像特徴」とは、検出した直線近傍領域と他の領域と区別することができる画像から抽出できる輝度、色、動き等の物理量をいう。

【0049】

ここで「対応直線の組」とは、2個のカメラ画像に映っている直線の組で、同一の実像を元にするものを指す。例えば、図6でカメラa, bの各画像中に直線s, s'が映っている。図7に示されるように、この2個の直線が監視区域での同一直線の像である場合、直線sとs'は対応直線の組である。一方、図6の直線t, t'は、図7の別々の直線の像であるため、これらは対応直線の組ではない。

【0050】

(3-1) 領域マッチングによる方法

対応直線の組を検出する方法としては、例えば直線近傍の画像特徴を用いた領域マッチングによる方法を適用することが考えられる。なお、「領域マッチング」とは、比較元の画像領域と比較先の画像領域との一致度を算出する方法である。

【0051】

最も簡便なSAD (Sum of Absolute Difference) を用いる方法を用いて、本願発明の発明者が独自に創作した方法を説明する。

【0052】

比較する2個の画像領域が同形としてRで表し、R中の位置を(x, y)、この位置での比較元の画素輝度をI(x, y)、比較先の画素輝度をI'(x, y)とした場合、

【数 11】

$$E_R = \sum_{(x,y) \in R} |I(x,y) - I'(x,y)|$$

を求める。この値が小さいほど2つの画像領域は一致している。

【0053】

直線間でマッチング計算を直接行うことが難しい場合、例えば直線上の任意点を中心とする任意領域について領域マッチングを実施し、その総和を比較すればよい。

【0054】

図8では、直線の2端点間に5個の矩形領域を等間隔に配置した例を示している。

【0055】

このような領域設定を異なる2直線について行い、並び順の通りにマッチング計算を行い E_R を求め、その総和 $\sum E_R$ が小さければ直線間の一致の度合いが高いと考えられる。図6のカメラa画像の直線、例えばsを比較元とし、カメラb画像の全直線を比較先として上記処理を行えば、直線近傍の画像パターンが最も似ており $\sum E_R$ が最小となる直線、つまり直線sと最も一致する直線s'を検出することができる。

【0056】

反対に、t, t'のように同じ実像を元としないものは直線近傍の画像パターンが異なるため、一致の度合いの低い、つまり $\sum E_R$ が大きな直線しか見つからない。よって、予め定めたしきい値と比較する等により、t, t'については対応直線が見つからないとして、直線対応検出部13の出力から除外することができる。この手続きをカメラa画像の全ての直線について行い、カメラb画像中の対応直線を求める。

【0057】

そして、射影行列Hを求めるために、少なくとも4組の対応直線の組を求める。

【0058】

(3-2) 動的計画法

比較する2直線の長さ(端点間の距離)が異なっていたり、一方の直線に含まれている部分が他方の直線に含まれていなかったりすると、領域マッチングによる対応直線の検出が困難となる場合が考えられる。このようなときでも有効な方法として動的計画法を適用することが考えられる。

【0059】

非特許文献4(H. Sakoe et al, Dynamic Programming Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition, IEEE Trans. on ASSP, Vol. 26, No. 1, pp. 43-49, 1978.)には、音声認識において動的計画法を適用することが記載されている。しかし、この記載は音声認識に関する技術であるため、本願の発明者は、この動的計画法を画像処理に適用して、直線近傍の画像特徴の一致の度合いを判定する技術を独自に創作した。以下、その画像処理に関する動的計画法を説明する。

【0060】

今、比較元の直線について近傍領域が図9のように設定されており、直線両側の2領域を各々、長辺方向に予め定めた幅で均等に区切り、図9の右図のように2領域から計I個の微小な領域が得られるとする。

【0061】

この微小領域について画素輝度の平均値を求めて微小領域の並び順にしたがって並べる等により、直線近傍領域の画像特徴を示す要素I個のデータ列 $A = \{a_i\}$ を得る。

【0062】

同様に、比較先の直線についても同様に領域設定し、同じ操作によりJ個の画像特徴データ列 $B = \{b_j\}$ を得る。

【0063】

A, B の長さ I, J が異なるときマッチング演算では A, B を比較できない。
動的計画法では、例えば i と j をもう一つのパラメータ k の関数として表すこと
により、この不具合を回避する。

【0064】

データ列 A, B 間の対応状態を

【数12】

$$F = \{c(1), c(2), \dots, c(k), \dots, c(K)\} \quad c(k) = (i(k), j(k))$$

と表す (F をワープ関数と呼ぶ)。ここで、データ差 $d(c) = |a_i - b_j|$
| を定義し、データ差に対する重み関数を $w(k)$ とすれば、 $d(c)$ の重み
付け和を重み和で正規化した値

【数13】

$$D_F(A, B) = \frac{\sum_k d(c(k))w(k)}{\sum_k w(k)}$$

は、ワープ関数 F におけるデータ列 A, B 間の正規化距離と考えられる。データ
の対応状態 $c(k)$ に応じて $w(k)$ を変え、 $D_F(A, B)$ が小さくなるよ
う繰り返し計算を行えば、F について $D_F(A, B)$ の最小値が探索でき、結
果、得られた最小値

【数14】

$$D(A, B) = \min_F D_F(A, B)$$

はデータ A, B 間の距離を示すものと見なせる。2 直線間で小さな D が得られた

とき直線が一致していると考えられることから、領域マッチング処理と同様にし、以上により画像間の対応直線を検出することが可能である。

【0065】

なお、データの対応状態 $c(k)$ に応じた重み関数 $w(k)$ の設定方法は非特許文献4に詳しい。

【0066】

上記のような方法で、一の画像において検出された全ての直線に関して、他の画像で検出された直線に対応させてそれぞれ正規化距離を求め、この正規化距離が最小の直線に対応する直線として記憶させる。

【0067】

そして、射影行列 H を求めるために、少なくとも4組の対応直線の組を求める。

【0068】

(3-3) 他の方法

他に、画像領域間の一致度を求める方法としては、SSD (Sum of Squared Difference) を用いる方法や、正規化相関係数法、構造マッチング等様々なものがあり、任意の方法を用いることが可能である。公知の方法については非特許文献2に詳しい。

【0069】

また、マッチングを行う領域も、図9のように直線左右の長矩形とする等、任意の設定が可能である。

【0070】

(4) 変換行列算出部14

変換行列算出部14は、上述の直線対応検出部13にて検出された、少なくとも4組の対応直線の組から、撮像装置間の画像変換パラメータである射影行列 H を求める。

【0071】

直線対応検出部13からは、対応直線の組が $\{ \mathbf{I}_n = (a_n, b_n, c_n)^T, \mathbf{I}'_n = (a'_n, b'_n, c'_n)^T \} \quad (n=1$

…N) として得られているとする。射影行列Hは(3)式と同じに表されるとき、 $\mathbf{h} = (H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{31}, H_{32})^T$ とすれば、(7)式のうち直線パラメータについての部分のみを取り出した式

【数15】

$$\begin{pmatrix} a'_1 c_1 & 0 & -a'_1 a_1 & b'_1 c_1 & 0 & -b'_1 a_1 & c'_1 c_1 & 0 \\ 0 & a'_1 c_1 & -a'_1 b_1 & 0 & b'_1 c_1 & -b'_1 b_1 & 0 & c'_1 c_1 \\ & & & \vdots & & & & \\ a'_N c_N & 0 & -a'_N a_N & b'_N c_N & 0 & -b'_N a_N & c'_N c_N & 0 \\ 0 & a'_N c_N & -a'_N b_N & 0 & b'_N c_N & -b'_N b_N & 0 & c'_N c_N \end{pmatrix} \mathbf{h} = \begin{pmatrix} a_1 c'_1 \\ b_1 c'_1 \\ \vdots \\ a_N c'_N \\ b_N c'_N \end{pmatrix}$$

に対して全ての $\{ \mathbf{I}_n, \mathbf{I}'_n \}$ を代入して解くことにより、 \mathbf{h} つまりHが求められる。(15)式は一般の連立一次方程式なので、非特許文献2にあるように公知の解法が幾つもあるが、代表的なものについて簡単に説明する。

(15)式左辺の \mathbf{h} にかかる $8 \times 2N$ の行列をA、右辺の $1 \times 2N$ のベクトルをbとすれば

【数16】

$$A\mathbf{h} = \mathbf{b}$$

となる。Aが正方行列($N=4$)のときはAが正則であれば逆行列 A^{-1} があって【数17】

$$\mathbf{h} = A^{-1}\mathbf{b}$$

により \mathbf{h} が求まる。

【0072】

Aが正方行列ではないときも($N>4$)、 A^T Aが正則であれば

【数 18】

$$\mathbf{h} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}$$

と直接解けば \mathbf{h} が得られる。

【0073】

より誤差の少ない \mathbf{h} を求めたい場合、 \mathbf{A} の特異値分解 $\mathbf{A} = \mathbf{U} \mathbf{W} \mathbf{V}^T$ 、ここで \mathbf{U} は $8 \times 2N$ の列直交行列、 \mathbf{W} は 8×8 の非負対角行列 ($\mathbf{W} = [\text{diag}(w_k)]$, $k = 1 \cdots 8$)、 \mathbf{V} は 8×8 の直交行列、を用いて

【数 19】

$$\mathbf{h} = \mathbf{V} [\text{diag}(1/w_k)] \mathbf{U}^T \mathbf{b}$$

により、最小 2 乗解として \mathbf{h} を求めることもできる。

【0074】

他の解法についても非特許文献 2 に詳しく、任意の解法を用いて (15) 式を解くことにより \mathbf{h} が求められる。 $N < 4$ のときや行列が正則でない等、 \mathbf{h} の解がない、あるいは一意には決められないとき、射影行列算出部 14 は \mathbf{H} が求められないという出力を行う。

【0075】

(5) 実施形態の効果と適用例

このようにして、画像間の対応直線の組を自動で求めて射影行列を算出することによってステレオキャリブレーションの自動化が実現でき、従来のステレオキャリブレーションで必要であった多大な人的コストや作業時間を大幅に削減できる。

【0076】

そして、このステレオキャリブレーション装置で得られた射影行列を用いて一対の撮像装置から得られた一対の画像間の変換が可能となる。したがって、一対

の撮像装置で前方を監視してステレオ視の原理で障害物等の三次元位置や構造を解析するステレオ画像監視装置に、このステレオキャリブレーション装置を適用することで、前方の監視を簡単に行うことができる。

【0077】

(変更例)

なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その主旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施できることは言うまでもない。

【0078】

(1) 変更例 1

例えば、本実施形態では撮像装置は2個としているが、3個以上の撮像装置の場合でも、本実施形態を適用して全てのあるいは任意の2個の撮像装置についてステレオキャリブレーションを行うことができ、結果、任意の複数の撮像装置についての画像変換パラメータを求めることができる。

【0079】

(2) 変更例 2

直線対応検出部 13 で求められる対応直線の組だけでなく、対応点の組も同時に求められていれば、射影行列算出部 14 で (15) 式の代わりに (7) 式を用いることにより、対応直線と対応点の組を同時に用いて射影行列を求めることができる。

【0080】

(3) 変更例 3

道路面等の基準面は平面と仮定しているが、曲面である場合である場合においても、部分分割して平面と近似する等により本実施形態を適用することが可能である。

【0081】

(4) 変更例 4

上記実施形態では、画素輝度あるいは微小領域の平均輝度を画像特徴とした場合の領域マッチング及び動的計画法の例について説明したが、この画像特徴としては、以下に挙げるような、画像から得られる任意の量を用いることが可能であ

る。

【0082】

例えば、カラーカメラを用いる場合には、マンセル表色系における彩度、色相、あるいはRGB各プレーンの要素値、さらには一般に知られるXYZ, UCS, CMY, YIQ, オストワルト, $L^*u^*v^*$, $L^*a^*b^*$ といった任意の表色系に変換したときの要素値が使用可能である。

【0083】

また、画像に対して空間的あるいは時間的に微分演算や積分演算を行なった結果も画像特徴として使用できる。

【0084】

具体的には、Sobel の他に Roberts, Robinson, Prewitt, Kirsch, Canny といった空間微分オペレータや、ラプラシアンガウシアン、モーメントオペレータ等を画像に作用させた結果、さらに積分的な平均フィルタやメディアンフィルタといった雑音除去処理の結果も画像特徴として使用できる。

【0085】

また、各画素に対して予め定められた微小領域で求められる統計量も画像特徴として用いることが可能である。

【0086】

例えば、平均輝度の他に、中央値、最頻値、範囲、分散、標準偏差、平均偏差などが挙げられる。

【0087】

さらに、画像に対して任意の物体検出あるいは領域分割処理を行った結果、及び結果から得られる領域のフィレ径や面積、動き量等、画像から算出可能な任意のスカラー量あるいはベクトル量を画像特徴として用いることが可能である。

【0088】

以上のような画像特徴については、非特許文献2に詳しい。

【0089】

(5) 変更例5

直線検出部12では輝度勾配を用いてエッジ画素を求めたが、輝度の他にも変

更例 4 で挙げた任意の画像特徴について勾配（言い換えるなら空間変化率）を求めることが可能である。

【0090】

よって、直線検出部 12 においても、任意の画像特徴について変化率が大きい画素をエッジ画素として求めたり、領域分割処理結果の領域境界としてエッジ画素を求めることができる。

【0091】

(6) 変更例 6

本発明の目的も、画像監視装置や車両の障害物検出や走行支援の装置のための画像変換パラメータ算出としているが、これに限定されるものではなく、航空機やヘリコプター、産業用あるいは家庭用ロボットに搭載される画像処理を用いた運転支援装置に適用できたり、多数の画像をつなぎ合わせて 1 個のパノラマ画像を作成するといったメディア処理技術のためにも適用できる等、様々な目的で利用することができる。

【0092】

【発明の効果】

本発明によれば、画像間の対応直線の組からの射影行列算出が自動で行われ、調整員による操作なしで短時間に高精度の画像変換パラメータが獲得できることにより、従来必要であった多大な人的コストや作業時間を大幅に削減できたり、撮像装置の取り付けに変化があったときのステレオ画像監視装置等の誤動作や調整員派遣等の不都合を回避できる等、実用上多大なる効果が奏せられる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態の障害物検出装置の概略構成図である。

【図 2】

監視区域と撮像装置の設置状態を示す模式図である。

【図 3】

車両に搭載された撮像装置の設置状態を示す模式図である。

【図 4】

直線検出部で輝度勾配を求める方法を示す模式図である。

【図 5】

直線検出部で求められたエッジ画素を示す模式図である。

【図 6】

直線検出部で求められた直線を示す模式図である。

【図 7】

監視区域での直線の対応関係を示す模式図である。

【図 8】

直線対応検出部で画像相関により直線対応を求める方法を示す模式図である。

【図 9】

直線対応検出部で動的計画法により直線対応を求める方法を示す模式図である。

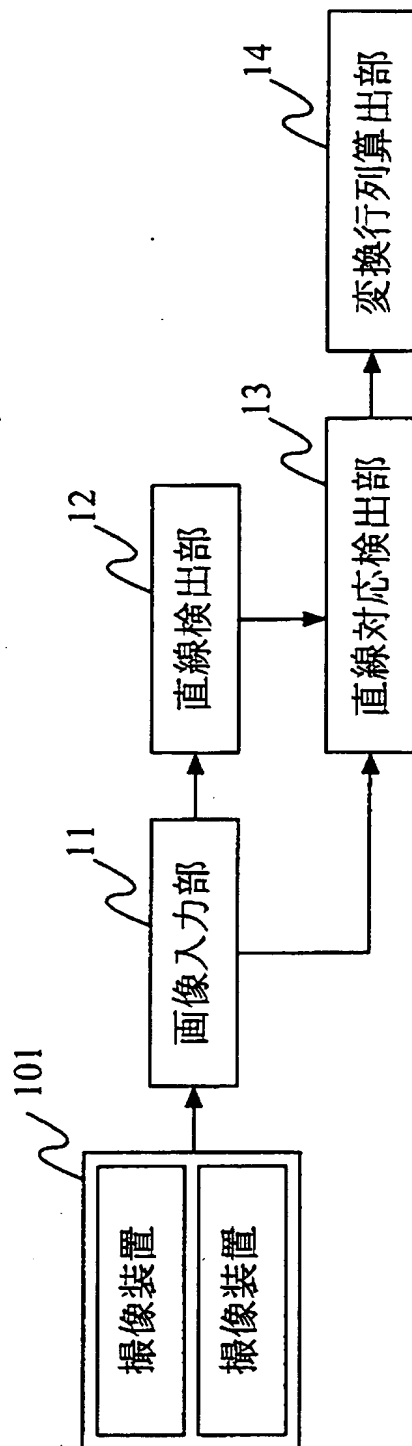
。

【符号の説明】

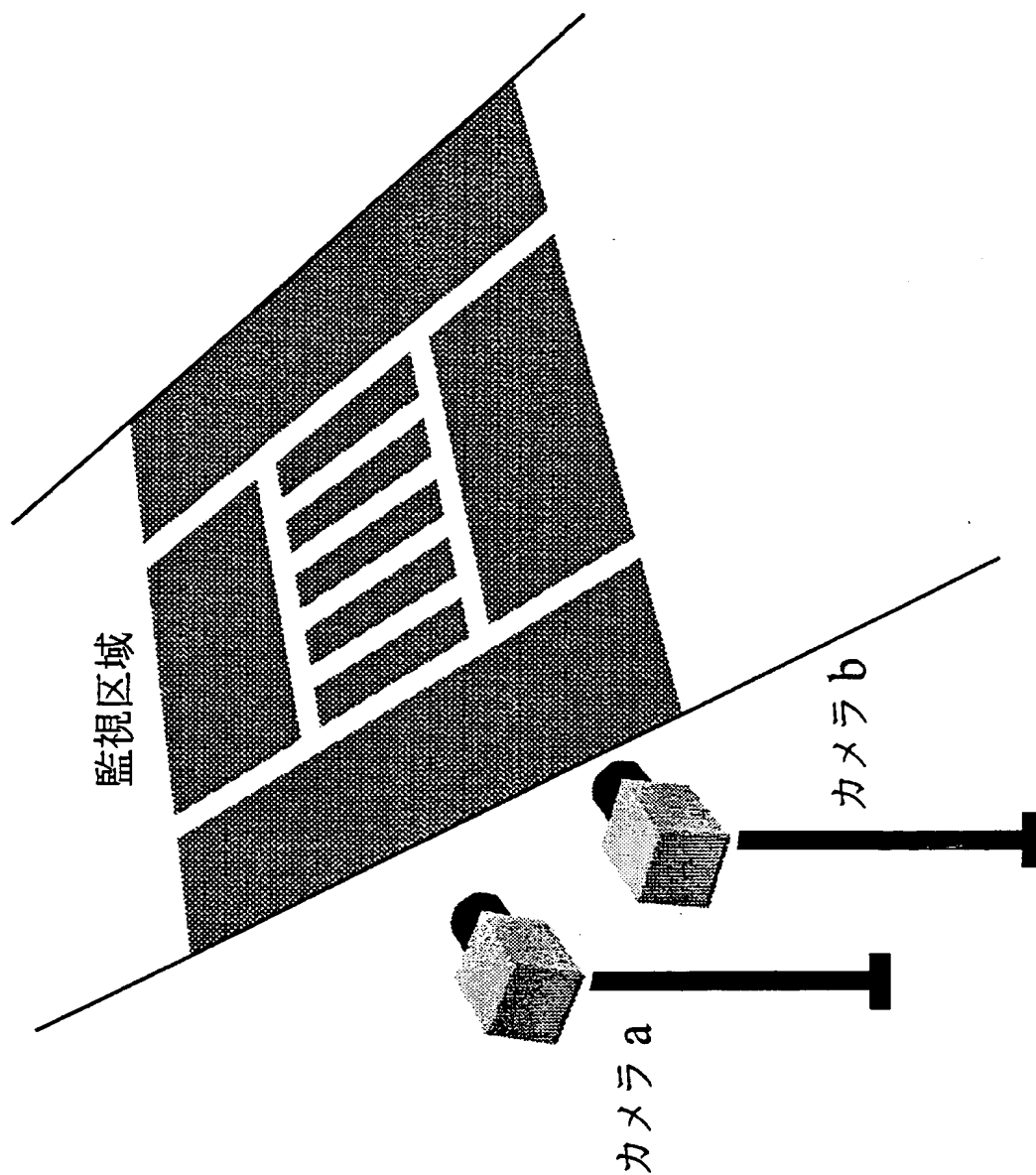
- 1 1 画像入力部
- 1 2 直線検出部
- 1 3 直線対応検出部
- 1 4 変換行列算出部

【書類名】 図面

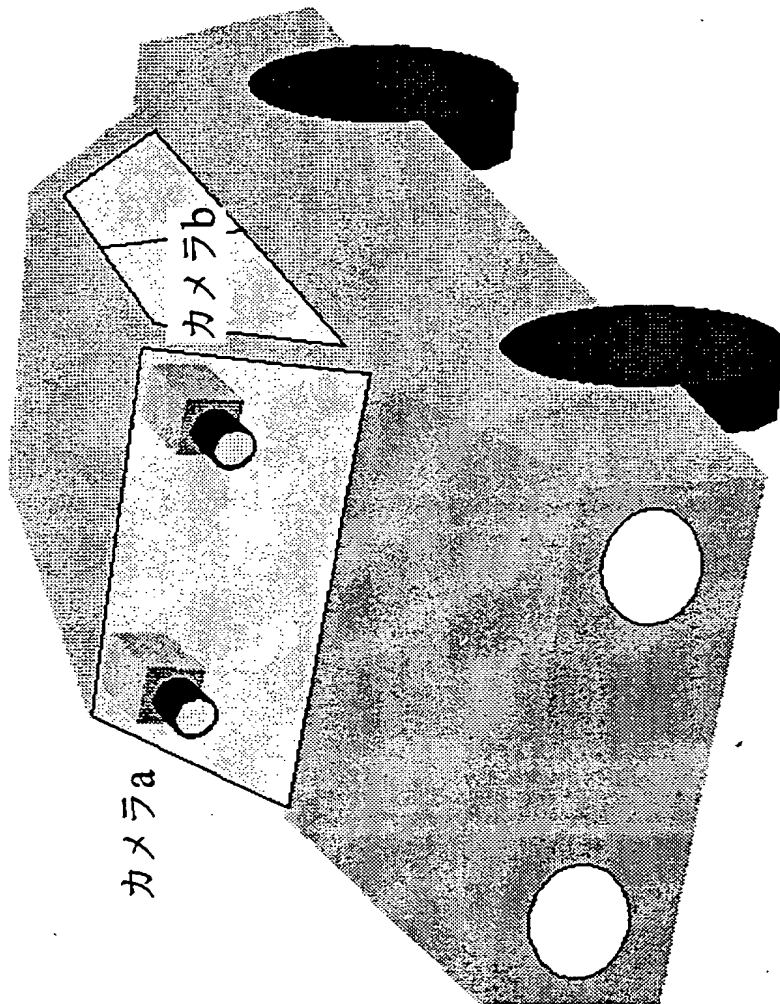
【図 1】



【図 2】



【図 3】

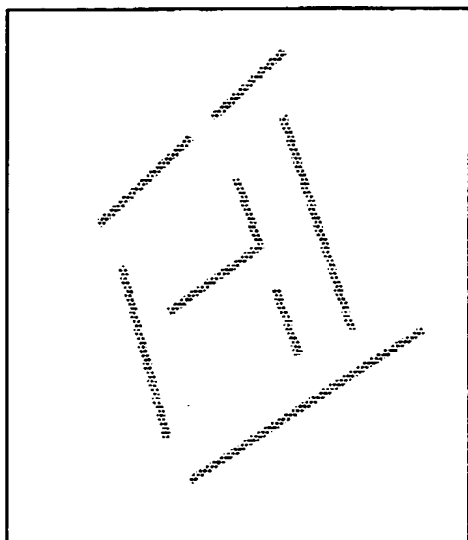


【図 4】

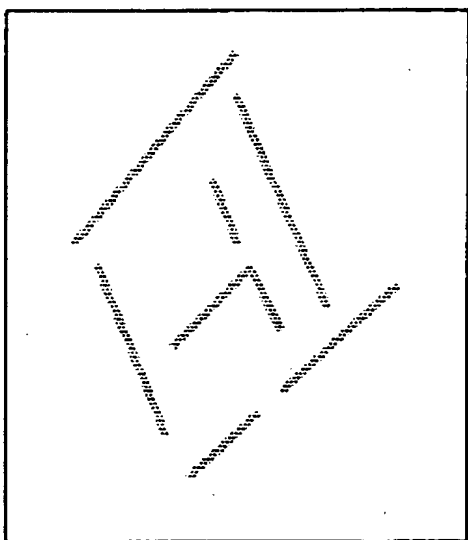
		j		
Fy	i	-1	0	1
	-1	-1	-1	-1
	0	0	0	0
	1	1	1	1

		j		
Fx	i	-1	0	1
	-1	-1	0	1
	0	-1	0	1
	1	-1	0	1

【図 5】

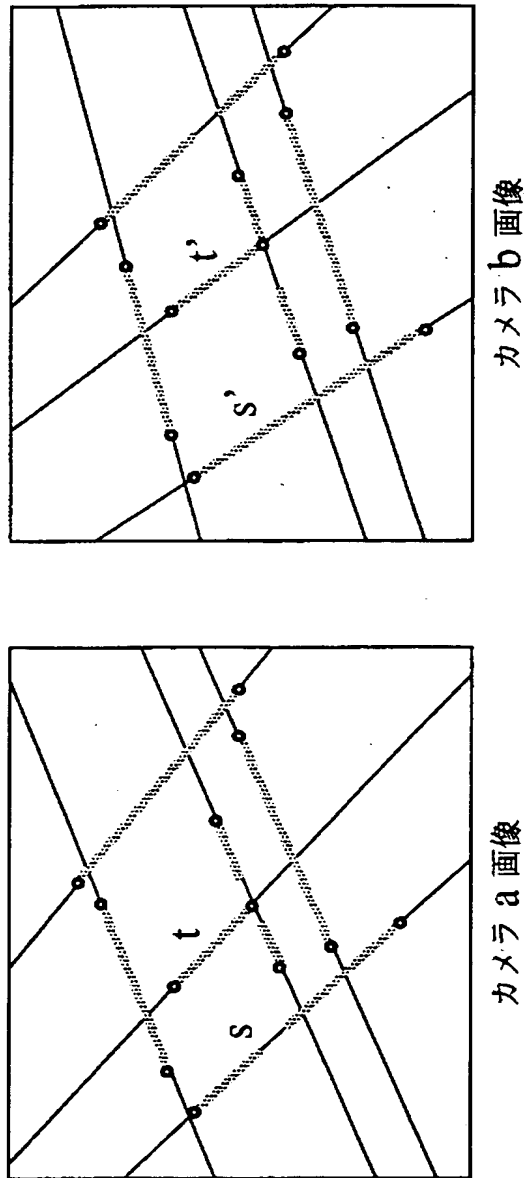


カメラ b 画像

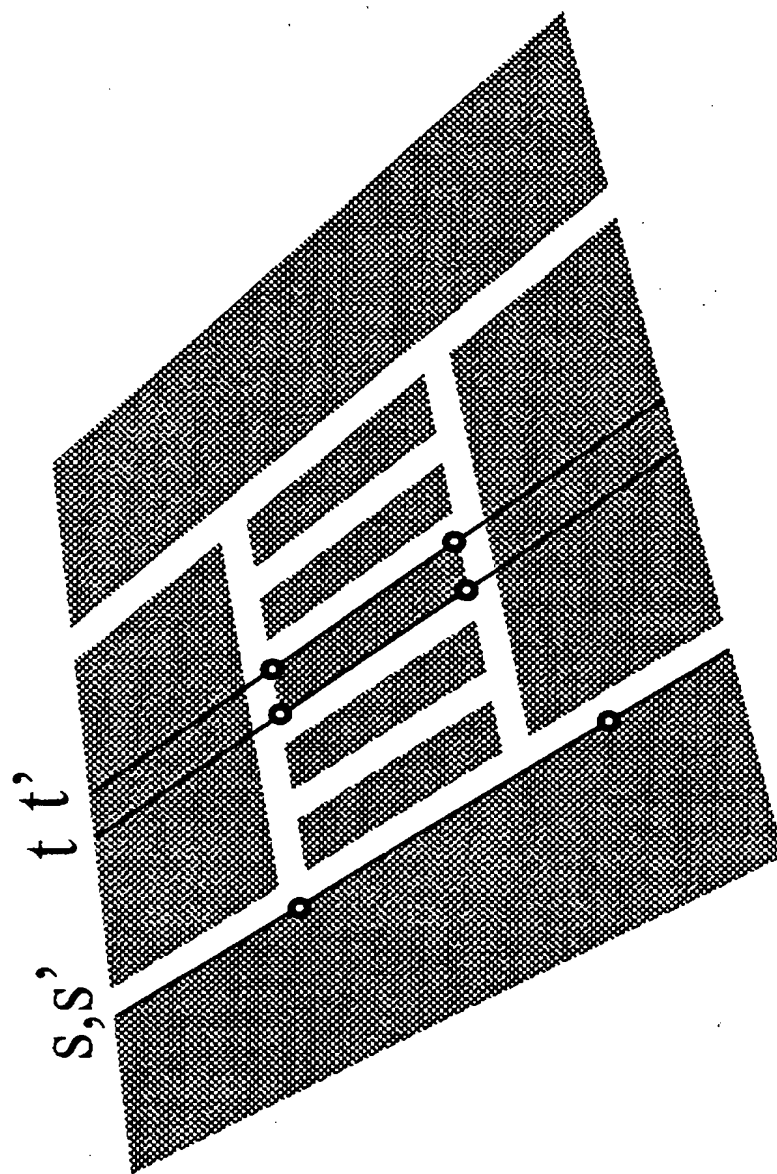


カメラ a 画像

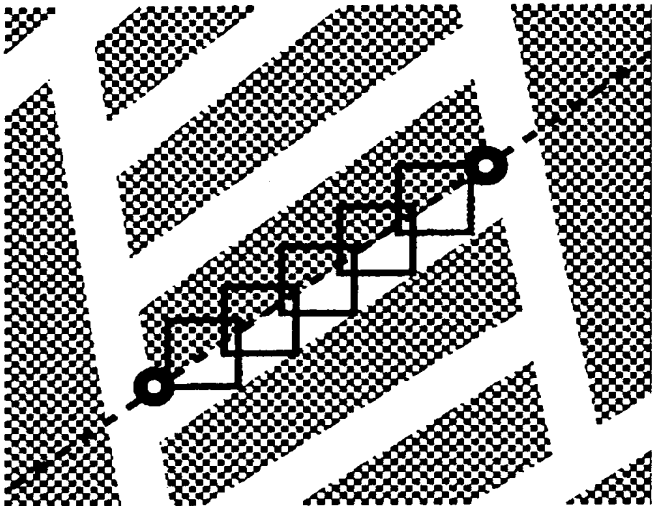
【図 6】



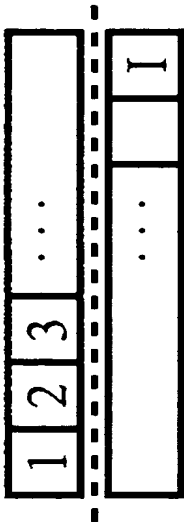
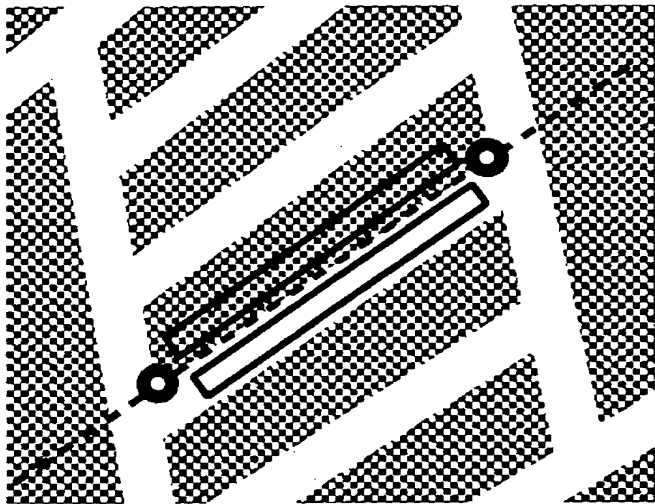
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】複数の撮像装置間の画像変換パラメータを求めるステレオキャリブレーション装置であって、画像間の対応直線の組を自動で求めて射影行列を算出することによりステレオキャリブレーションを自動化し、調整員による操作なしで短時間に高精度の画像変換パラメータを獲得するものである。

【解決手段】ステレオキャリブレーション装置は、2個の撮像装置から画像が入力する画像入力部11と、入力した2個の画像において画像1個あたり少なくとも4個の直線を検出する直線検出部12と、検出された直線の近傍領域の画像特徴を利用して少なくとも4個の対応直線の組を求める直線対応検出部13と、得られた対応直線の組から2個の撮像装置間の画像変換パラメータとして射影行列を算出する変換行列算出部14とからなる。

【選択図】 図1

特願 2003-068835

出願人履歴情報

識別番号

[000003078]

1. 変更年月日 2001年 7月 2日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区芝浦一丁目1番1号
氏 名 株式会社東芝
2. 変更年月日 2003年 5月 9日
[変更理由] 名称変更
住所変更
住 所 東京都港区芝浦一丁目1番1号
氏 名 株式会社東芝